

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 813 122

(21) N° d'enregistrement national : **00 10675**

(51) Int Cl⁷ : G 01 P 15/08

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 17.08.00.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.02.02 Bulletin 02/08.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : *SAGEM SA Société anonyme* — FR.

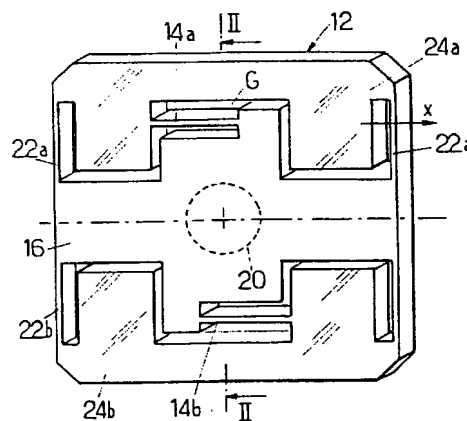
(72) Inventeur(s) : LE ROY JEAN CLAUDE.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

(54) **ACCELEROMETRE MINIATURE NON ASSERVI.**

(57) Le détecteur accélérométrique comprend un corps (12) ayant une partie centrale (16) et deux masses sismiques (24a-24b) situées de part et d'autre de la partie centrale, reliées à la partie centrale par des articulations permettant un mouvement autour d'un axe perpendiculaire à l'axe sensible. Des capteurs de force à poutre vibrante relient chacun une des masses à la partie centrale. Le montage est tel que, lorsqu'une des poutres est soumise à une force de traction due à une accélération suivant l'axe sensible, l'autre poutre est soumise à une force de compression de même valeur.



FR 2 813 122 - A1



ACCELEROMETRE MINIATURE NON ASSERVI

La présente invention concerne les accéléromètres du type comportant des masses sismiques, dites aussi masses d'épreuve, non ramenées à une position
5 d'équilibre par un asservissement. Ils sont différents des accéléromètres à pendule asservi, qui peuvent être précis mais sont d'un coût très élevé, comportant des moyens de commande électrostatiques ou électromagnétiques destinés à ramener la masse sismique dans une position déterminée. Ces appareils, fonctionnant en boucle fermée, sont complexes. De plus, ils utilisent
10 dans la plupart des cas une électronique analogique.

On connaît également déjà des accéléromètres miniatures à masse pendulaire non asservie, dont la masse pendulaire est sollicitée vers une position de repos par une liaison avec un socle par une poutre vibrante (ou une paire de poutres
15 vibrantes) placée de façon qu'une accélération suivant un axe sensible crée une contrainte de traction ou de compression dans une poutre. La variation de la fréquence de résonance de la poutre est alors représentative de l'accélération appliquée. L'utilisation de deux poutres, une en traction et une en compression, permet, par exploitation différentielle des fréquences de
20 résonance, de linéariser le comportement. Ces appareils fonctionnant en boucle ouverte permettent d'obtenir un signal numérique. Ils sont simples à réaliser. Jusqu'ici ils présentent une précision insuffisante pour certaines applications.

Le brevet US 4 939 935 et la demande française correspondante 88 02079
25 décrivent un tel accéléromètre ayant une masse sismique unique reliée à une base par une charnière. Deux poutres vibrantes en matériau piézoélectrique relient la base à la masse sismique et sont munies d'électrodes destinées à faire vibrer les poutres à leur fréquence de résonance. Ces poutres sont placées symétriquement par rapport à la masse sismique, de part et d'autre de
30 la charnière, de sorte que toute accélération le long d'un axe sensible crée

des contraintes de traction dans une poutre et des contraintes de compression dans l'autre.

La structure plate de cette disposition (l'épaisseur étant généralement inférieure
5 à 1 mm pour des dimensions en plan pouvant aller jusqu'à 1 cm environ) permet une fabrication simple et économique par des procédés d'attaque chimique. La fabrication peut être collective, c'est-à-dire que de nombreux accéléromètres peuvent être simultanément fabriqués sur une même tranche de matériau en général piézoélectrique, mais pouvant être le silicium.

10

On a également proposé (FR-A-2 685 964 et 2 784 752) des accéléromètres miniatures monolithiques, pouvant être fabriqués de façon économique.

L'accéléromètre suivant le document FR-A- 2 685 964 est à simple poutre, ce
15 qui crée des problèmes d'isolement, qui ne peuvent être compensés que partiellement et par une structure de filtrage mécanique qui consomme de la surface et ajoute à l'ensemble une souplesse qui fait que les premiers modes de vibration de structure se placent dans la plage de fréquence susceptible d'être rencontrée pour les applications potentielles.

20

Le document FR-A-2 784 752 décrit un détecteur accélérométrique ayant un corps monolithique présentant une partie centrale et deux masses sismiques situées de part et d'autre de la partie centrale, reliées à la partie centrale par des articulations permettant un mouvement autour d'un axe perpendiculaire à
25 l'axe sensible et des capteurs de force à poutre vibrante reliant chacun une des masses à la partie centrale, montés de façon que, lorsqu'une des poutres est soumise à une force de traction due à une accélération suivant l'axe sensible, l'autre poutre est soumise à une force de compression de même valeur.

30 Cette disposition laisse subsister des défauts, dus notamment à ce que les pieds des cellules supportant les extrémités des poutres vibrantes sont reliés

directement par une traverse appartenant à la partie fixe. Cette disposition conduit inévitablement à un couplage mécanique qui se traduit par un verrouillage des fréquences de vibration des poutres dans le cas d'accélération faible, c'est-à-dire à une zone aveugle. Dans la pratique, il est nécessaire de
5 donner aux poutres des fréquences de résonance très différentes, de sorte que la compensation des modes communs n'est que partielle et que les performances sont dégradées.

La présente invention vise notamment à fournir un détecteur accélérométrique
10 miniature répondant mieux que ceux antérieurement connus aux exigences de la pratique, notamment en ce qu'il présente une linéarité élevée, et écarte les problèmes de couplage, et cela en restant de coût faible, notamment lorsqu'il est réalisé sous forme plate et par des techniques se prêtant à une fabrication collective.

15 Dans ce but, l'invention propose notamment un détecteur caractérisé en ce que les cellules constituées chacune d'une masse et d'un capteur sont disposées tête-bêche et symétriquement par rapport à l'axe de moyens de fixation de la partie centrale à la structure dont l'accélération est à mesurer.

20 Une solution particulièrement simple consiste à solidariser la partie centrale d'un support présentant une excroissance sur laquelle est fixée une face de la partie centrale. Il est même possible de constituer le corps, les capteurs de force et le support sous forme monolithique, en ménageant un jeu très faible,
25 pouvant être de quelques dizaines de microns seulement, entre les masses sismiques et le support. Une telle constitution a l'avantage supplémentaire que le support constitue une butée limitant la déformation dans un sens orthogonal à l'axe sensible et évitant la destruction du détecteur.

30 Dans un mode avantageux de réalisation, chaque masse sismique est reliée à la partie centrale par deux articulations disposées parallèlement l'une à l'autre

et formant des charnières qui imposent à la masse sismique de se déplacer suivant une direction parallèle à l'axe sensible, c'est-à-dire à la direction du capteur de force, plutôt qu'en rotation. Ainsi, l'axe sensible n'est pas incliné par rapport à la direction de la poutre vibrante. En effet, les articulations constituent, avec la partie centrale et la masse sismique, l'équivalent d'un parallélogramme déformable. On obtient un résultat optimal en donnant à chaque masse sismique une forme telle que son centre de gravité se trouve dans le plan de la poutre.

- 10 Les poutres seront généralement en matériau piézorésistif (quartz ou céramique). Cependant, il est également possible de constituer le détecteur en silicium, ce qui implique que l'excitation des poutres soit réalisée soit par un dépôt local d'une couche piézo-électrique, soit par un autre procédé physique (par exemple capacitif ou magnétique) ou la combinaison de ces procédés.

15

Comme on l'a indiqué plus haut, le détecteur peut avoir une épaisseur très faible, nettement inférieure au millimètre (souvent environ 400 μm). La raideur élevée des parallélogrammes déformables dans la direction perpendiculaire à l'axe sensible et un choix approprié du rapport entre les raideurs permet de placer le premier mode de vibration de structure de façon orthogonale à l'axe sensible avec une fréquence en dehors des spectres utiles des applications potentielles sans pour autant diminuer la sensibilité suivant l'axe sensible.

Les caractéristiques ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels

- la figure 1 est une vue en perspective simplifiée d'un détecteur suivant un premier mode de réalisation ;

- la figure 2 est une vue en coupe suivant la ligne II-II de la figure 1 ;
 - la figure 3 montre une constitution possible des moyens d'articulation du mode de réalisation de la figure 1 ;
 - la figure 4, similaire à la figure 1, montre une variante de réalisation sans
- 5 parallélogramme déformable.

Le détecteur accélérométrique montré schématiquement en figures 1 et 2 a une constitution monolithique. Il peut être regardé comme ayant un corps 12 et des capteurs de force 14a et 14b constitués chacun par une poutre vibrante reliée à

10 un circuit de mesure de la différence des fréquences de résonance. Le corps 12 présente une partie centrale 16 destinée à être fixée à la structure dont l'accélération est à mesurer. L'emplacement de fixation constitue un centre de symétrie pour le détecteur. Dans le cas illustré sur les figures 1 et 2, le corps est solidarisé d'un support 18 par collage de sa partie centrale sur une

15 excroissance 20 du support. Avantageusement, le jeu ménagé entre le support et la grande face en regard du corps 12 est très faible, par exemple de l'ordre de quelques μm dans le cas d'un accéléromètre miniature de forme plate, de façon- que le support constitue une butée limitant le débattement transversal des parties mobiles du corps. Dans une variante de réalisation, le corps et le

20 support constituent un ensemble monolithique, par exemple en silicium, fabriqué par des techniques classiques d'attaque chimique.

La partie centrale 16 est reliée, par des moyens d'articulation, à deux masses sismiques ou masse d'épreuve 24a et 24b symétriques par rapport à l'axe de la zone de fixation de la partie centrale. Dans le cas illustré sur la figure

25 1, les moyens d'articulation sont d'une seule pièce avec les masses sismiques et avec la partie centrale et les moyens d'articulation de chaque masse sismique sont constitués par deux lames qui, dans leur position de repos, sont orthogonales à l'axe sensible X. Par exemple, les deux lames 22a qui maintiennent la masse sismique 24a relient les extrémités de la partie centrale,

30 dans le sens de l'axe sensible, aux extrémités de la masse sismique 24a. La structure en parallélogramme déformable et l'orientation des poutres

perpendiculaire à l'axe sensible ne contraint pas la position du centre de gravité.

Si on définit l'axe de pendule comme étant perpendiculaire à l'axe défini par les centres de rotation de charnières et passant par le centre de gravité des masses pendulaires, le défaut de parallélisme de cet axe de pendule conduit, dans le cas de l'art antérieur, à un axe sensible incliné. Ce problème est écarté dans le cas d'une structure en parallélogramme.

10 Les masses sismiques représentées ont une forme en U, la majeure partie de la masse étant concentrée dans les branches du U. L'une de ces branches est reliée à la partie centrale 16 par le capteur 14a ou 14b, dirigé suivant l'axe sensible et placé de façon telle que le centre de gravité G soit approximativement dans le plan du capteur.

15 Les lames 22a et 22b constituant les moyens d'articulation peuvent être simplement des lames minces, comme indiqué sur la figure 1, ou elles peuvent présenter chacune des rétrécissements 26 à leur extrémité, comme indiqué sur la figure 3. Elles peuvent également être fractionnées en deux parties. Dans tous les cas, il est avantageux de constituer ces lames de façon que le premier mode d'oscillation de structure ait une fréquence très élevée par rapport à la plage requise pour les accélérations à mesurer. De plus, la flexibilité des lames est avantageusement suffisante pour ne pas provoquer une force de rappel appréciable.

25 En cas de détecteur accélérométrique destiné à des engins, le spectre au-delà duquel il faut rejeter le premier mode de vibration de structure s'arrête généralement vers 3 kHz.

Le terme "poutre", utilisé pour désigner le capteur, doit être interprété de façon large et comme désignant tout capteur de forme allongée pouvant utiliser l'effet piézoélectrique, l'effet piézorésistif (pour la détection) ou, dans une constitution

moins avantageuse, un effet capacitif et fournissant un signal représentatif des contraintes de traction et de compression longitudinales. On peut notamment utiliser une simple poutre vibrante d'une seule pièce. Cependant, il est de beaucoup préférable d'utiliser une poutre constituant diapason ou double
5 diapason, comme par exemple le transducteur double décrit dans US-A-5 020 370 (demande FR 88 15835) ou la constitution suivant US-A-4 939 935. Dans le cas illustré sur la figure 2, la poutre est dédoublée en deux éléments parallèles l'un à l'autre.

10 L'épaisseur des poutres étant très faible, elles n'exercent qu'une force de rappel très faible. Le résonateur travaillant en traction-compression, et non pas en flexion-traction comme dans des systèmes de l'art antérieur, les poutres n'influencent pas de façon défavorable le mode de résonance de structure selon l'axe sensible.

15

Toute accélération suivant l'axe sensible provoque la mise en tension longitudinale d'une des poutres et la mise en compression de l'autre poutre. Un circuit relié à des électrodes d'excitation de la vibration des poutres à la résonance et à des électrodes permettant de détecter la fréquence de
20 résonance permet de déterminer la différence entre les fréquences de résonance des deux poutres et d'en déduire l'accélération.

La constitution montrée sur la figure 1 présente de nombreux avantages du point de vue de la précision. L'ensemble constitué par la partie centrale, les
25 lames et une masse sismique constitue géométriquement un parallélogramme déformable par flexion des lames (figure 1) ou flexion au niveau des rétrécissements (figure 3). L'axe sensible ne change en conséquence pas d'orientation en cas de déplacement de la masse sismique. Le couplage entre les axes sensibles des deux cellules est très faible et le couplage entre les deux

oscillateurs est réduit. Il peut être totalement annulé en utilisant une conception en deux blocs.

5 Le détecteur peut notamment être fabriqué par gravure humide ou par la succession d'une gravure sèche dite "ion track" suivie d'une gravure chimique.

Dans le cas où le corps est en matériau non piézoélectrique, par exemple en silicium, l'excitation des poutres peut être réalisée par un dépôt local en matériau piézoélectrique ou par in autre procédé physique tel que
10 capacitif ou magnétique.

Dans la variante de réalisation montrée en figure 4, où les éléments correspondant à ceux de la figure 1 sont désignés par le même numéro de référence, chaque masse sismique 24a ou 24b est reliée à la partie centrale 16 par une seule charnière 22 et par le capteur 14a ou 14b. La charnière est
15 placée entre la portion massive de la masse sismique 24a ou 24b et le capteur correspondant 14a ou 14b. Du fait de la différence importante de bras de levier de part et d'autre de la charnière, la poutre constituant le capteur reste en permanence orientée sensiblement suivant l'axe sensible.

La figure 4 montre également, à titre de simple exemple, un circuit
20 pouvant être associé aux poutres 14a et 14b pour mesurer la fréquence propre et en déduire l'accélération. Le circuit montré en figure 4 comporte deux oscillateurs 32a et 32b dont seul le second est montré en détail. Il comporte également un module 34 de mesure de la différence entre les fréquences des signaux de sortie des oscillateurs. Chacun des oscillateurs est prévu pour
25 maintenir à une valeur constante l'amplitude du courant appliqué aux électrodes des poutres, dont la constitution peut être celle décrite dans l'un des brevets de la demanderesse mentionnés plus haut. L'oscillateur 32b montré en figure 4 comprend un amplificateur 38 dont la boucle de réaction contient, disposées en série, les électrodes d'excitation à la résonance de la poutre 14b et un
30 amplificateur à gain commandé 40. Le gain de l'amplificateur 40 est commandé par un module 44 qui reçoit une consigne de tension sur une entrée 46 et la

compare à la tension de sortie de l'amplificateur 38. Du fait que le courant dans les électrodes de la poutre est maintenu à une valeur constante, fixée par la tension de consigne, les variations de fréquence liées à l'isochronisme sont annulées.

5

Les sorties des deux oscillateurs sont appliquées au circuit 34 qui détermine la différence Δf entre les fréquences de résonance et en déduit l'accélération. Cette mesure peut être effectuée de façon numérique, du fait qu'une fréquence peut aisément être transformée en une série d'impulsions dont la fréquence de

10 répétition correspond à la fréquence.

L'invention est susceptible de nombreuses variantes de réalisation encore, sous forme monolithique aussi bien que sous forme de deux cellules séparées, en matériau piézoélectrique ou non, monolithique ou composite. Par ailleurs, et

15 notamment lorsque le détecteur est constitué de façon monolithique avec le support 18, il est possible de réaliser, en une même opération, deux détecteurs ayant des axes sensibles croisés sur une même tranche de semi-conducteur. Il est également possible d'associer, sur une même tranche, un ou deux détecteurs accélérométriques plats du genre représenté avec un capteur

20 gyrométrique également plat.

REVENDECATIONS

1. Détecteur accélérométrique comprenant un corps (12) ayant une partie centrale (16) et
5 deux masses sismiques (24a-24b) situées de part et d'autre de la partie centrale , reliées à la partie centrale par des articulations permettant un mouvement autour 'd'un axe perpendiculaire à l'axe sensible et des capteurs de force à poutre vibrante reliant chacun une des masses à la partie centrale, montés de façon que, lorsqu'un des poutres est soumise à une force de traction due à une accélération suivant l'axe sensible, l'autre
10 poutre est soumise à une force de compression de même valeur caractérisé en ce que les cellules, constituées chacune d'une masse et d'un capteur, sont disposées tête-bêche et symétriquement par rapport à l'axe de moyens (20) de fixation de la partie centrale à la structure (18) dont l'accélération est à mesurer.
- 15 2. Détecteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les articulations et les capteurs de force sont prévus de façon que le premier mode de vibration de structure des masses soit dans une direction orthogonale à l'axe sensible du détecteur.
3. Détecteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que chaque masse sismique
20 (245a, 24b) est reliée à la partie centrale par deux articulations disposées parallèlement l'une à l'autre et formant deux charnières qui imposent à la masse sismique de se déplacer suivant une direction parallèle à l'axe sensible du détecteur.
4. Détecteur selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que la dite partie centrale
25 est solidarisée par une face d'une excroissance d'un support.
5. Détecteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les masses sismiques sont séparées d'un support par un jeu faible.

6. Détecteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que les articulations sont constituées par des lames minces ou présentant chacune des rétrécissements (26) à leurs extrémités.
- 5 7. Détecteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque masse sismique est reliée à la partie centrale par une articulation unique (22) formant charnière, placée entre la majeure partie de la masse sismique et la poutre.
8. Détecteur selon l'une quelconque des revendications précédentes,
10 caractérisé en ce que chaque poutre est constituée par un diapason simple ou double en matériau piézoélectrique.

FIG.1.

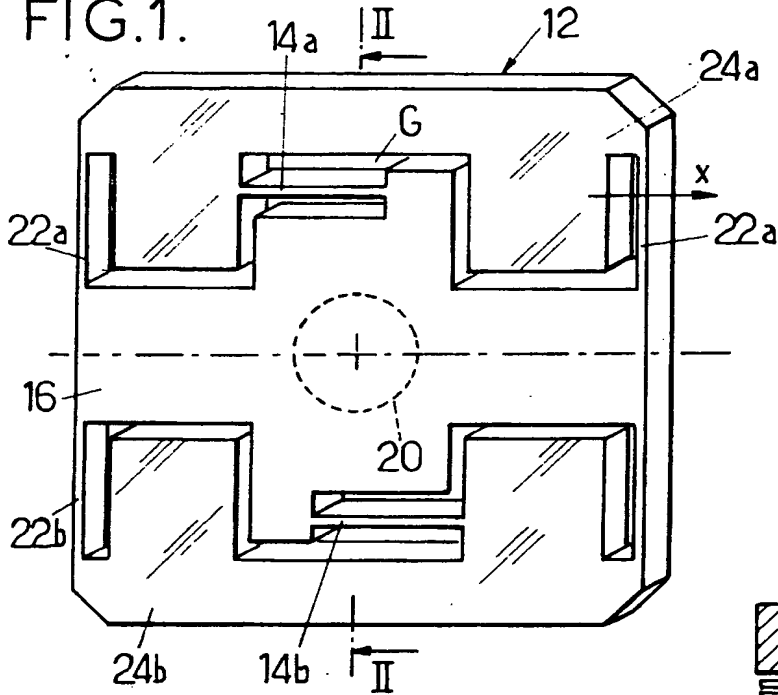


FIG.3.

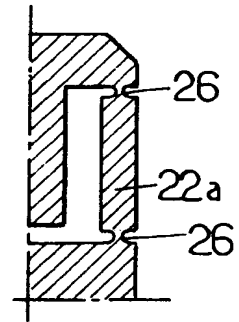


FIG.2.

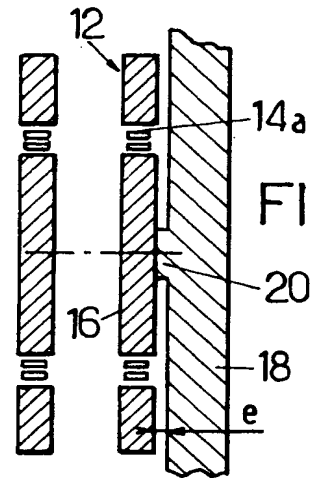
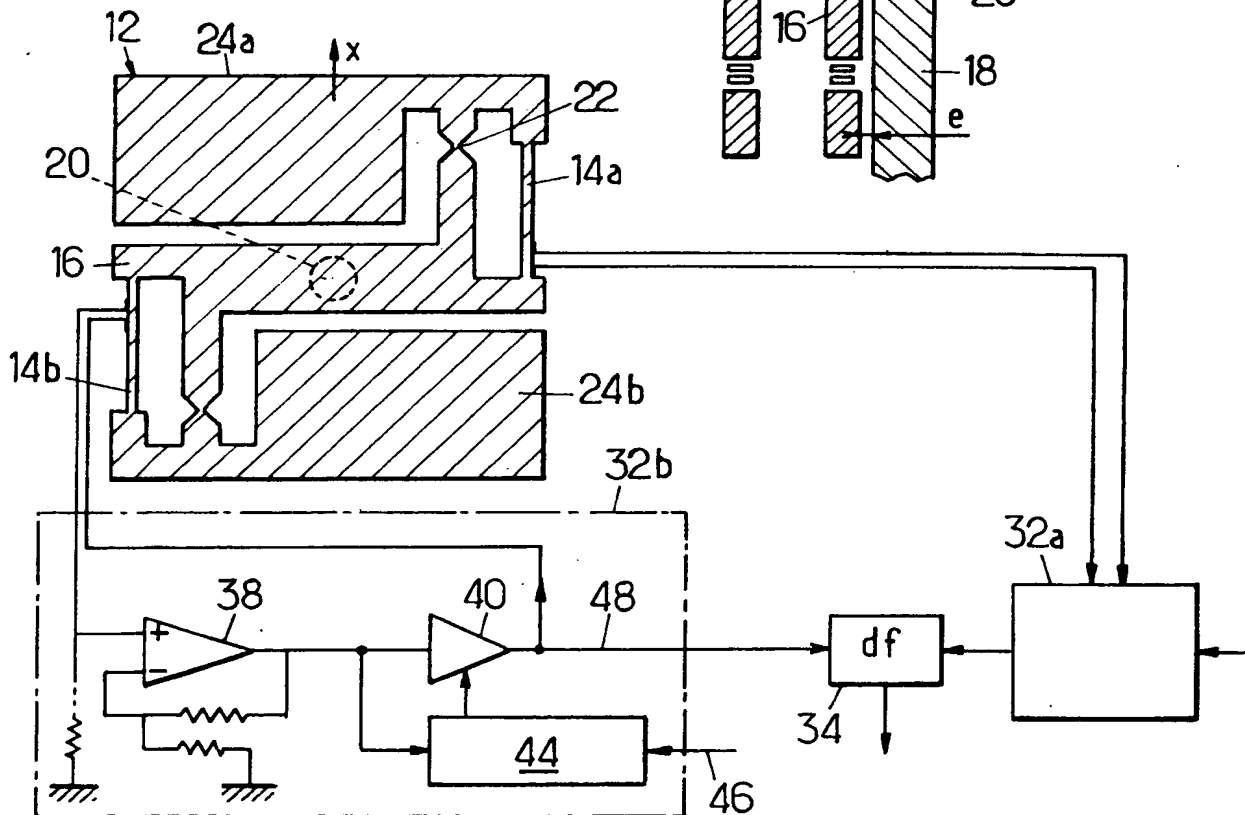


FIG.4.



établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 596838
FR 0010675

2
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

